

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

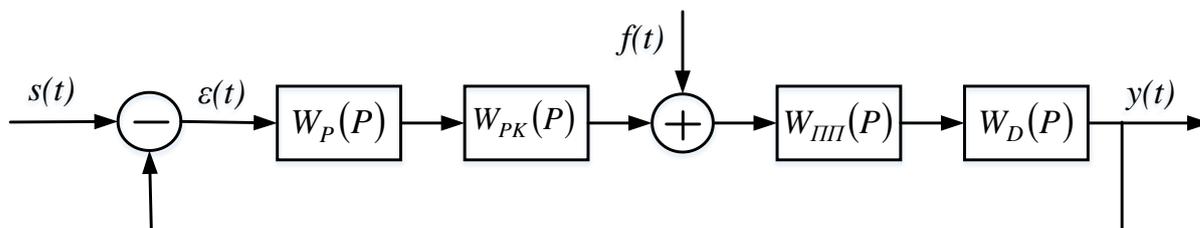
Ю.К. Атрошенко

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Индивидуальное домашнее задание

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ
 по дисциплине **АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ**
 для гр. 5Б91, 5Б92, 5Б93

1. Дана структурная схема системы автоматического регулирования расхода на участке трубопровода $W_{III}(P)$ с помощью регулирующего клапана $W_{PK}(P)$:



$W_p = K_p + \frac{K_u}{P}$ – передаточная функция регулятора (коэффициенты приведены в исходных данных).

$W_{об} = \frac{K_{об}}{T_{об} \cdot P + 1}$ – передаточная функция объекта регулирования (определяется по кривой разгона в соответствии с вариантом (Приложение 1));

Модель расходомера описать апериодическим звеном с коэффициентом передачи, определяющим преобразование расхода в выходной электрический сигнал (см. Приложение 2).

Модель регулирующего клапана $W_{PK}(P)$ описать пропорциональным звеном с коэффициентом передачи, определяемом по расходной характеристике клапана в окрестности номинального расхода:

Q/Q_{\max}	0,05	0,14	0,28	0,40	0,52	0,63	0,74	0,83	0,91	0,96	1,00
% ИМ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

1. Определить:

- Определить ошибку идентификации объекта (среднеквадратическое отклонение полученной кривой от исходной кривой разгона);
- Эквивалентную передаточную функцию по каналу задания (W_{s-y}) и возмущения (W_{f-y});
- Определить устойчивость по критерию Михайлова (вывод выражения для годографа Михайлова, годограф Михайлова в комплексной плоскости);
- Определить частотные характеристики системы (ВЧХ, МЧХ, АФЧХ), привести пошаговый вывод ЧХ, графики ЧХ.

ОБРАТИТЬ ВНИМАНИЕ!

- При выполнении **не** своего варианта баллы снижаются на 50 %;
- При отсутствии выводов выражений, графиков и пояснений, необходимых обозначений на графиках, промежуточных расчетов баллы снижаются в соответствии с объемом отсутствующих данных;
- При наличии ошибок в оформлении баллы снижаются (но не более, чем на 2 балла);
- В случае плагиата (даже частичного) все работы, поступившие после первой и содержащие заимствованные части, получают 0 (!) баллов вне зависимости от первоисточника и количества заимствованных частей.

Варианты заданий:

№ вар.	Ф.И.О.	Параметры регулятора		Объект (Приложение 1)	Изм. преобраз. (Приложение 2)
		K_p	K_u		
<i>Группа 5Б91</i>					
A1	Бакытбек Бекжан Ермакулы	25	2	Объект № 24	11
A2	Бенедиктов Александр Андреевич	7	3,8	Объект № 10	15
A3	Гермаш Иван Викторович	7,5	3,5	Объект № 11	5
A4	Горелов Михаил Игоревич	2	10	Объект № 2	4
A5	Зырянова Виктория Николаевна	250	5	Объект № 7	1
A6	Касым Данияр Балгабайулы	100	30	Объект № 22	4
A7	Князева Арина Артуровна	6	5	Объект № 10	2
A8	Куксаченко Роман Андреевич	6,1	4,2	Объект № 22	3
A9	Макаров Егор Евгеньевич	12	12	Объект № 21	9
A10	Ойношева Алтынай Николаевна	10	25	Объект № 3	12
A11	Олешко Кирилл Сергеевич	5,5	2,5	Объект № 16	5
A12	Шабанов Аслан Элчинович	4,5	3,5	Объект № 17	14
A13	Шаропов Мухаммад Зафарович	5,2	10,4	Объект № 15	7
A14	Шуатаев Мерлан Калкаманович	4,3	9,2	Объект № 19	10
<i>Группа 5Б92</i>					
B1	Акимов Владислав Саябекович	5,9	10	Объект № 10	13
B2	Ахмадеев Ришат Наильевич	10	5	Объект № 7	6
B3	Иванин Ярослав Сергеевич	12	4,2	Объект № 21	8
B4	Михеев Глеб Анатольевич	1	0,3	Объект № 17	12
B5	Петухов Матвей Алексеевич	5,5	10,5	Объект № 20	13
B6	Трайт Александр Александрович	5,1	8,5	Объект № 23	7

<i>Группа 5Б93</i>					
V1	Беляева Ирина Евгеньевна	2	0,8	Объект № 9	14
V2	Великоречин Андрей Александрович	23	15	Объект № 15	9
V3	Глумов Алексей Сергеевич	2,5	7,7	Объект № 14	1
V4	Гребнев Илья Аркадьевич	200	12	Объект № 20	12
V5	Гусев Артём Андреевич	27,4	18,9	Объект № 3	3
V6	Емельянов Степан Геннадьевич	15,2	10,8	Объект № 1	15
V7	Журавлев Денис Александрович	1,5	10,8	Объект № 8	6
V8	Журба Евгений Аркадьевич	4,5	3,5	Объект № 17	10
V9	Камбаров Саид-Ахмад Спандиярович	4	2,5	Объект № 18	5
V10	Карташова Ксения Андреевна	1,2	1,1	Объект № 24	8
V11	Клименко Андрей Юрьевич	1,4	12,3	Объект № 16	14
V12	Козлова Владислава Владимировна	0,9	10,5	Объект № 9	6
V13	Криволапов Иван Иванович	1,5	15,2	Объект № 5	11
V14	Кужин Руслан Юрьевич	0,4	16,4	Объект № 1	1
V15	Микулич Михаил Евгеньевич	4,2	14,2	Объект № 4	2
V16	Нагибин Павел Сергеевич	1,2	10,8	Объект № 6	3
V17	Овтина Анастасия Вячеславовна	1,8	12,3	Объект № 12	2
V18	Паномарев Дмитрий Андреевич	2	10	Объект № 2	15
V19	Скорюпин Вячеслав Викторович	2,3	18	Объект № 13	1
V20	Черкасов Роман Евгеньевич	15,9	8,9	Объект № 8	10
V21	Чоботова Владлена Михайловна	18,1	12,2	Объект № 14	5
V22	Шахрай Михаил Сергеевич	10	25	Объект № 3	8
V23	Шведов Денис Константинович	80	20,2	Объект № 12	3
V24	Школа Мария Валерьевна	31,5	20,4	Объект № 11	4

*Студенты, отсутствующие в списке, получают задание индивидуально у лектора.

Приложение 1. Кривые разгона для идентификации объекта регулирования

Объект № 1		Объект № 2		Объект № 3		Объект № 4	
<i>t, с</i>	<i>y(t)</i>	<i>t, с</i>	<i>y(t)</i>	<i>t, с</i>	<i>y(t)</i>	<i>t, с</i>	<i>y(t)</i>
0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000
3,0	0,2592	5,0	0,3604	5,0	0,6134	5,0	0,6815
6,0	0,4512	10,0	0,6126	10,0	1,0177	10,0	1,1308
9,0	0,5934	15,0	0,7890	15,0	1,2843	15,0	1,4270
12,0	0,6988	20,0	0,9124	20,0	1,4600	20,0	1,6222
15,0	0,7769	25,0	0,9988	25,0	1,5759	25,0	1,7510
18,0	0,8347	30,0	1,0592	30,0	1,6522	30,0	1,8358
21,0	0,8775	35,0	1,1015	35,0	1,7026	35,0	1,8918
24,0	0,9093	40,0	1,1311	40,0	1,7358	40,0	1,9287
27,0	0,9328	45,0	1,1518	45,0	1,7577	45,0	1,9530
30,0	0,9502	50,0	1,1663	50,0	1,7721	50,0	1,9690
33,0	0,9631	55,0	1,1764	55,0	1,7816	55,0	1,9796
36,0	0,9727	60,0	1,1835	60,0	1,7879	60,0	1,9865
39,0	0,9798	65,0	1,1884	65,0	1,7920	65,0	1,9911
42,0	0,9850	70,0	1,1919	70,0	1,7947	70,0	1,9941
45,0	0,9889	75,0	1,1943	75,0	1,7965	75,0	1,9961
48,0	0,9918	80,0	1,1960	80,0	1,7977	80,0	1,9975
51,0	0,9939	85,0	1,1972	85,0	1,7985	85,0	1,9983
54,0	0,9955	90,0	1,1981	90,0	1,7990	90,0	1,9989
57,0	0,9967	95,0	1,1986	95,0	1,7993	95,0	1,9993
60,0	0,9975	100,0	1,1991	100,0	1,7996	100,0	1,9995
Объект № 5		Объект № 6		Объект № 7		Объект № 8	
<i>t, с</i>	<i>y(t)</i>	<i>t, с</i>	<i>y(t)</i>	<i>t, с</i>	<i>y(t)</i>	<i>t, с</i>	<i>y(t)</i>
0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000
7,5	0,4622	10,0	0,4505	10,0	0,2835	10,0	1,1339
15,0	0,7909	20,0	0,7657	20,0	0,4866	20,0	1,9463
22,5	1,0246	30,0	0,9862	30,0	0,6321	30,0	2,5285
30,0	1,1908	40,0	1,1405	40,0	0,7364	40,0	2,9456
37,5	1,3090	50,0	1,2485	50,0	0,8111	50,0	3,2445
45,0	1,3931	60,0	1,3240	60,0	0,8647	60,0	3,4587
52,5	1,4529	70,0	1,3769	70,0	0,9030	70,0	3,6121
60,0	1,4954	80,0	1,4139	80,0	0,9305	80,0	3,7221
67,5	1,5256	90,0	1,4397	90,0	0,9502	90,0	3,8009
75,0	1,5471	100,0	1,4578	100,0	0,9643	100,0	3,8573
82,5	1,5624	110,0	1,4705	110,0	0,9744	110,0	3,8978
90,0	1,5732	120,0	1,4794	120,0	0,9817	120,0	3,9267
97,5	1,5810	130,0	1,4856	130,0	0,9869	130,0	3,9475
105,0	1,5865	140,0	1,4899	140,0	0,9906	140,0	3,9624
112,5	1,5904	150,0	1,4929	150,0	0,9933	150,0	3,9730
120,0	1,5932	160,0	1,4951	160,0	0,9952	160,0	3,9807
127,5	1,5951	170,0	1,4965	170,0	0,9965	170,0	3,9862
135,0	1,5965	180,0	1,4976	180,0	0,9975	180,0	3,9901
142,5	1,5975	190,0	1,4983	190,0	0,9982	190,0	3,9929
150,0	1,5983	200,0	1,4988	200,0	0,9987	200,0	3,9949
Объект № 9		Объект № 10		Объект № 11		Объект № 12	
<i>t, с</i>	<i>y(t)</i>	<i>t, с</i>	<i>y(t)</i>	<i>t, с</i>	<i>y(t)</i>	<i>t, с</i>	<i>y(t)</i>
0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000

7,5	0,7775	12,0	0,4970	10,0	0,2485	10,0	0,3003
15,0	1,3536	24,0	0,8706	20,0	0,4353	20,0	0,5105
22,5	1,7803	36,0	1,1513	30,0	0,5756	30,0	0,6575
30,0	2,0964	48,0	1,3622	40,0	0,6811	40,0	0,7603
37,5	2,3306	60,0	1,5207	50,0	0,7603	50,0	0,8323
45,0	2,5041	72,0	1,6398	60,0	0,8199	60,0	0,8827
52,5	2,6326	84,0	1,7293	70,0	0,8647	70,0	0,9179
60,0	2,7278	96,0	1,7966	80,0	0,8983	80,0	0,9426
67,5	2,7984	108,0	1,8471	90,0	0,9236	90,0	0,9598
75,0	2,8506	120,0	1,8851	100,0	0,9426	100,0	0,9719
82,5	2,8894	132,0	1,9137	110,0	0,9568	110,0	0,9803
90,0	2,9180	144,0	1,9351	120,0	0,9676	120,0	0,9862
97,5	2,9393	156,0	1,9513	130,0	0,9756	130,0	0,9904
105,0	2,9550	168,0	1,9634	140,0	0,9817	140,0	0,9933
112,5	2,9667	180,0	1,9725	150,0	0,9862	150,0	0,9953
120,0	2,9753	192,0	1,9793	160,0	0,9897	160,0	0,9967
127,5	2,9817	204,0	1,9845	170,0	0,9922	170,0	0,9977
135,0	2,9865	216,0	1,9883	180,0	0,9942	180,0	0,9984
142,5	2,9900	228,0	1,9912	190,0	0,9956	190,0	0,9989
150,0	2,9926	240,0	1,9934	200,0	0,9967	200,0	0,9992
Объект № 13		Объект № 14		Объект № 15		Объект № 16	
<i>t, с</i>	<i>y(t)</i>						
0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000
12,0	0,7912	2,5	0,6978	25,0	0,5530	20,0	0,8504
24,0	1,3216	5,0	1,2083	50,0	0,9837	40,0	1,4597
36,0	1,6771	7,5	1,5818	75,0	1,3191	60,0	1,8964
48,0	1,9154	10,0	1,8551	100,0	1,5803	80,0	2,2092
60,0	2,0752	12,5	2,0550	125,0	1,7837	100,0	2,4334
72,0	2,1823	15,0	2,2013	150,0	1,9422	120,0	2,5940
84,0	2,2541	17,5	2,3083	175,0	2,0656	140,0	2,7091
96,0	2,3022	20,0	2,3866	200,0	2,1617	160,0	2,7915
108,0	2,3344	22,5	2,4439	225,0	2,2365	180,0	2,8506
120,0	2,3560	25,0	2,4858	250,0	2,2948	200,0	2,8930
132,0	2,3705	27,5	2,5164	275,0	2,3402	220,0	2,9233
144,0	2,3802	30,0	2,5389	300,0	2,3755	240,0	2,9451
156,0	2,3868	32,5	2,5553	325,0	2,4031	260,0	2,9606
168,0	2,3911	35,0	2,5673	350,0	2,4245	280,0	2,9718
180,0	2,3941	37,5	2,5761	375,0	2,4412	300,0	2,9798
192,0	2,3960	40,0	2,5825	400,0	2,4542	320,0	2,9855
204,0	2,3973	42,5	2,5872	425,0	2,4643	340,0	2,9896
216,0	2,3982	45,0	2,5906	450,0	2,4722	360,0	2,9926
228,0	2,3988	47,5	2,5931	475,0	2,4784	380,0	2,9947
240,0	2,3992	50,0	2,5950	500,0	2,4832	400,0	2,9962
Объект № 17		Объект № 18		Объект № 19		Объект № 20	
<i>t, с</i>	<i>y(t)</i>						
0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000
20,0	3,2968	10,0	1,8132	12,0	1,2185	7,5	1,1883
40,0	5,5067	20,0	3,0287	24,0	2,1071	15,0	2,0050
60,0	6,9881	30,0	3,8434	36,0	2,7551	22,5	2,5663
80,0	7,9810	40,0	4,3896	48,0	3,2276	30,0	2,9521
100,0	8,6466	50,0	4,7557	60,0	3,5721	37,5	3,2173
120,0	9,0928	60,0	5,0011	72,0	3,8234	45,0	3,3995
140,0	9,3919	70,0	5,1655	84,0	4,0066	52,5	3,5247

160,0	9,5924	80,0	5,2758	96,0	4,1402	60,0	3,6108
180,0	9,7268	90,0	5,3497	108,0	4,2376	67,5	3,6700
200,0	9,8168	100,0	5,3993	120,0	4,3087	75,0	3,7106
220,0	9,8772	110,0	5,4325	132,0	4,3605	82,5	3,7386
240,0	9,9177	120,0	5,4547	144,0	4,3983	90,0	3,7578
260,0	9,9448	130,0	5,4697	156,0	4,4258	97,5	3,7710
280,0	9,9630	140,0	5,4797	168,0	4,4459	105,0	3,7801
300,0	9,9752	150,0	5,4864	180,0	4,4606	112,5	3,7863
320,0	9,9834	160,0	5,4909	192,0	4,4712	120,0	3,7906
340,0	9,9889	170,0	5,4939	204,0	4,4790	127,5	3,7935
360,0	9,9925	180,0	5,4959	216,0	4,4847	135,0	3,7956
380,0	9,9950	190,0	5,4972	228,0	4,4888	142,5	3,7969
400,0	9,9966	200,0	5,4982	240,0	4,4919	150,0	3,7979
Объект № 21		Объект № 22		Объект № 23		Объект № 24	
<i>t, с</i>	<i>y(t)</i>						
0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000
12,0	0,4924	10,0	0,6710	7,5	1,0904	10,0	1,1762
24,0	0,8573	20,0	1,1753	15,0	1,8093	20,0	1,9883
36,0	1,1275	30,0	1,5542	22,5	2,2832	30,0	2,5491
48,0	1,3277	40,0	1,8390	30,0	2,5956	40,0	2,9363
60,0	1,4761	50,0	2,0529	37,5	2,8016	50,0	3,2036
72,0	1,5859	60,0	2,2138	45,0	2,9373	60,0	3,3882
84,0	1,6673	70,0	2,3346	52,5	3,0268	70,0	3,5157
96,0	1,7276	80,0	2,4254	60,0	3,0858	80,0	3,6037
108,0	1,7723	90,0	2,4936	67,5	3,1247	90,0	3,6644
120,0	1,8054	100,0	2,5449	75,0	3,1504	100,0	3,7064
132,0	1,8299	110,0	2,5835	82,5	3,1673	110,0	3,7354
144,0	1,8481	120,0	2,6124	90,0	3,1784	120,0	3,7554
156,0	1,8615	130,0	2,6342	97,5	3,1858	130,0	3,7692
168,0	1,8715	140,0	2,6505	105,0	3,1906	140,0	3,7787
180,0	1,8789	150,0	2,6628	112,5	3,1938	150,0	3,7853
192,0	1,8844	160,0	2,6721	120,0	3,1959	160,0	3,7899
204,0	1,8884	170,0	2,6790	127,5	3,1973	170,0	3,7930
216,0	1,8914	180,0	2,6842	135,0	3,1982	180,0	3,7952
228,0	1,8936	190,0	2,6881	142,5	3,1988	190,0	3,7967
240,0	1,8953	200,0	2,6911	150,0	3,1992	200,0	3,7977

Приложение 2. Характеристики измерительных преобразователей расхода

№ преобр.	Номинальный расход, т/ч	Диапазон измерения расхода, т/ч	Диапазон изменения выходного сигнала, мА	Постоянная времени, с
1	385	100...420	0...5	0,55
2	215	50...250	0...20	0,60
3	430	200...500	4...20	0,65
4	584	160...650	4...20	0,58
5	310	50...320	0...20	0,59
6	480	160...500	0...20	0,75
7	125	50...250	4...20	0,68
8	410	100...500	0...5	0,76
9	90	30...100	0...20	0,62
10	230	50...250	4...20	0,64
11	350	50...400	4...20	0,76
12	450	100...500	0...5	0,68
13	850	300...1000	0...20	0,52
14	600	100...630	0...5	0,55
15	100	30...125	0...5	0,58

Порядок выполнения работы

1. Определить передаточные функции регулятора, объекта, измерительного преобразователя:
 - a. $W_{ИП}(P)$ определить по формулам, приведенным в методических указаниях к лабораторной работе № 13;
 - b. Выполнить идентификацию объекта: по данным Приложения 1 в соответствии с вариантом построить график кривой разгона объекта. По полученному графику определить $W_{Об}(P)$ (см. методические указания к Лабораторной работе № 13). Для полученной передаточной функции получить уравнение переходной характеристики, рассчитать значения переходной функции в точках, в которых определена исходная кривая разгона. Определить среднеквадратическое отклонение по формуле:

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^{21} (y_i^{Исх} - y_i^{Рас})^2}{21},$$

где $i=21$ – количество точек, в которой определена переходная характеристика; $y_i^{Исх}$ – исходное значение переходной характеристики (Приложение 1); $y_i^{Рас}$ – расчетное значение переходной характеристики, полученной для передаточной функции, определенной при идентификации объекта.

Качество идентификации объекта считать удовлетворительным при $\sigma \leq 0,05$. В противном случае следует уточнить найденные значения T и K и повторить оценку отклонения.

2. Определить эквивалентную передаточную функцию по каналам задания и возмущения.
3. Исследовать замкнутую систему на устойчивость по критерию Михайлова (с помощью пакета Excel или Mathcad), привести выражение для годографа Михайлова, годограф в комплексной плоскости.
4. Определить МЧХ, ВЧХ, АЧХ, ФЧХ, АФЧХ, построить графики полученных частотных характеристик.
5. С помощью программы МВТУ построить переходную характеристику, определить все прямые оценки качества.

Содержание отчета

1. Формулировка задания, структурная схема заданной системы;
2. Значения параметров, приведенных в исходных данных;
3. Порядок выполнения идентификации объекта (кривая разгона, определение параметров объекта);
4. Вывод переходной функции для объекта регулирования, таблица, содержащая расчетные и исходные значения переходной функции, расчет среднеквадратического отклонения;
5. (При необходимости) уточнение параметров объекта;
6. Порядок вывода эквивалентной передаточной функции по каналам задания и возмущения, полученные передаточные функции;
7. Порядок проверки системы на устойчивость (выражение для годографа Михайлова, таблица для построения годографа Михайлова, годограф Михайлова в комплексной плоскости, вывод об устойчивости системы);
8. Порядок получения частотных характеристик по эквивалентной передаточной функции, графики частотных характеристик (с помощью пакета Excel, Mathcad);
9. Структурная схема моделируемой в МВТУ системы регулирования, график переходного процесса по каналу задания, расчет прямых оценок качества (с нанесением необходимых обозначений) на график переходного процесса.